

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-258922
(43)Date of publication of application : 13.09.2002

(51)Int.Cl. G05B 19/404
G05B 19/19

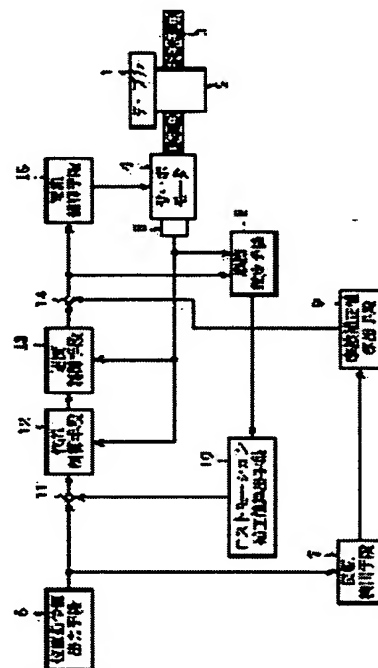
(21)Application number : 2001-057283 (71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP
(22)Date of filing : 01.03.2001 (72)Inventor : SUGIE HIROSHI

(54) NUMERIC CONTROL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a numeric control system for precisely correcting lost motion fluctuating according to the position, speed, and lubricating state of an object to be controlled.

SOLUTION: This numerical control system is provided with a reverse detecting means 7 for outputting reverse detection information corresponding to the increase and decrease of a position instruction value, a friction correction value calculating means 9 for generating a current command correction value based on the reverse detection information and a preliminarily set friction correction value, a friction value estimating means 8 for estimating a friction value based on the position information of an object to be controlled and the corrected current command value, and a lost motion correction value calculating means 10 for generating a position command correction value based on the estimated friction value.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]
[Date of sending the examiner's decision of rejection]
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-258922

(P 2002-258922 A)

(43) 公開日 平成14年9月13日 (2002. 9. 13)

(51) Int. Cl. 7

G 0 5 B 19/404
19/19

識別記号

F I

G 0 5 B 19/404
19/19

テ-マコ-ト (参考)

E 5H269
W

審査請求 未請求 請求項の数 8

O L

(全 1 3 頁)

(21) 出願番号 特願2001-57283 (P2001-57283)

(22) 出願日 平成13年3月1日 (2001. 3. 1)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 杉江 弘

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱

電機株式会社内

(74) 代理人 100066474

弁理士 田澤 博昭 (外1名)

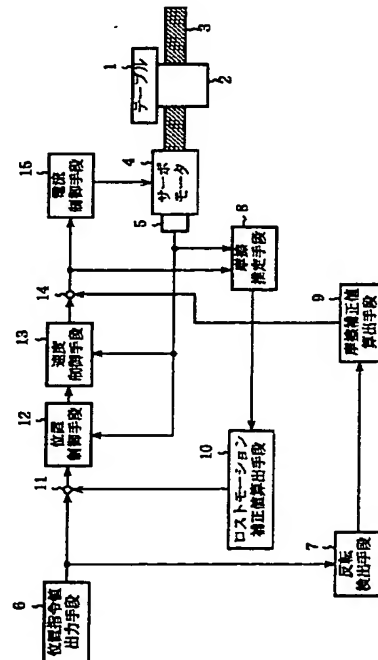
F ターム (参考) 5H269 AB01 BB03 EE11 EE13 FF06

(54) 【発明の名称】 数値制御システム

(57) 【要約】

【課題】 位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動するロストモーションを精度良く補正する数値制御システムを得る。

【解決手段】 位置指令値の増減に応じた反転検出情報を出力する反転検出手段7と、反転検出情報と予め設定された摩擦補正值とに基づいて電流指令補正值を生成する摩擦補正值算出手段9と、制御対象の位置情報と補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段8と、推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成するロストモーション補正值算出手段10とを備えた。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 位置指令値出力手段から出力された位置指令値を位置指令補正值により補正する位置指令値補正手段と、上記位置指令値補正手段により補正された位置指令値に基づいて電流指令値を生成する電流指令値生成手段と、上記電流指令値生成手段により生成された電流指令値を電流指令補正值により補正する電流指令値補正手段と、上記電流指令値補正手段により補正された電流指令値に基づいた電流を制御対象を駆動する駆動手段に供給する電流制御手段と、上記位置指令値出力手段から出力された位置指令値の増減に応じて制御方向の反転を検出して反転検出情報を出力する反転検出手段と、上記反転検出手段により検出された反転検出情報と予め設定された摩擦補正值とに基づいて電流指令補正值を生成し、上記電流指令値補正手段に供給する電流指令補正值生成手段と、上記制御対象の位置情報と上記電流指令値補正手段により補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段と、上記摩擦推定手段により推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成し、上記位置指令値補正手段に供給する位置指令補正值生成手段とを備えた数値制御システム。

【請求項 2】 位置指令補正值生成手段は、摩擦推定手段により推定された摩擦量と位置指令値出力手段から出力された位置指令値とに基づいて位置指令補正值を生成し、位置指令値補正手段に供給することを特徴とする請求項 1 記載の数値制御システム。

【請求項 3】 位置指令値出力手段から出力された位置指令値を位置指令補正值により補正する位置指令値補正手段と、上記位置指令値補正手段により補正された位置指令値に基づいて電流指令値を生成する電流指令値生成手段と、上記電流指令値生成手段により生成された電流指令値を電流指令補正值により補正する電流指令値補正手段と、上記電流指令値補正手段により補正された電流指令値に基づいた電流を制御対象を駆動する駆動手段に供給する電流制御手段と、上記制御対象の位置情報と上記電流指令値補正手段により補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段と、上記摩擦推定手段により推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成し、上記位置指令値補正手段に供給する位置指令補正值生成手段と、上記摩擦推定手段により推定された摩擦量に基づいて電流指令補正值を生成し、上記電流指令値補正手段に供給する電流指令補正值生成手段とを備えた数値制御システム。

【請求項 4】 電流指令補正值生成手段は、反転検出手段により検出された反転検出情報と摩擦推定手段により推定された摩擦量とに基づいて電流指令補正值を生成し、電流指令値補正手段に供給することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 記載の数値制御システム。

【請求項 5】 摩擦推定手段は、制御対象の位置情報と電流指令値補正手段により補正された電流指令値とに基

づいて摩擦量を推定し、その推定された摩擦量の絶対値が予め設定された最大摩擦量を超えないように出力を制限することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のうちのいずれか 1 項記載の数値制御システム。

【請求項 6】 摩擦推定手段は、制御対象の運動方向が重力の影響を受けるような場合に、その重力の影響を考慮して摩擦量を推定することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のうちのいずれか 1 項記載の数値制御システム。

【請求項 7】 位置指令補正值生成手段は、摩擦推定手段からの摩擦量を位置指令値およびその摩擦量に応じて変化する非線形バネ要素の剛性で除算した位置指令補正值を生成することを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のうちのいずれか 1 項記載の数値制御システム。

【請求項 8】 一定の位置指令値に基づいて制御対象を動作させた際の制御対象の位置情報とこの制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値とに基づいて、制御対象の慣性モーメントと粘性摩擦係数を推定するパラメータ推定手段を備え、摩擦推定手段は、上記パラメータ推定手段の出力を用いて、制御対象の位置情報とこの制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値とに基づいて摩擦量を推定することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のうちのいずれか 1 項記載の数値制御システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、NC加工に適用される数値制御システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】図 12 は例えば特開平 4-362703 号公報に示された従来の数値制御システムを示すブロック構成図であり、図において、32 は NC プログラム 31 に基づいて軸の移動情報を算出する関数発生部である。33 は軸の移動情報に基づいて軸を制御する軸制御部であり、この軸制御部 33 において、34 は主制御部、35 は制御プログラム記憶部、36 は出力部、37 は入力部、38 はロストモーション補正量算出部、39 は多層ニューラルネット型推論部、40 は結合重み係数算出部である。41 はパワーアンプ、42 はサーボモータ、43 はモータ位置検出部、44 はカップリング、45 は制御対象となるテーブル、46 はカップリング 44 に接続されたボールネジ、47 はベッドである。

【0003】次に動作について説明する。数値制御システムの 1 つの適用対象である工作機械においては、加工精度および生産性の向上の両立が求められる。工作機械に実装されているような送り駆動機構にはロストモーションが発生し、工作加工品位に悪影響を及ぼすため、これを回避するための方策が考えられている。図 12 において、関数発生部 32 は、NC プログラム 31 に基づいて軸の移動情報を算出し、軸制御部 33 に位置指令 SP を転送する。主制御部 34 は、位置指令 SP と、制御プ

プログラム記憶部 35 に格納されているサーボ制御プログラム SCP と、入力部 37 を介して入力されるサーボモータ 42 のロータ位置を検出するモータ位置検出部 43 の位置検出値 DP とに基づいて、所望の位置、速度、電流の各制御ループの演算を行い、最終的に出力部 36 を介してパワーアンプ 41 に電流指令値 SI を転送する。パワーアンプ 41 は、電流指令値 SI に従ってサーボモータ 42 に印加すべき各相電圧を発生する。この電圧の印加によりサーボモータ 42 には駆動トルクが発生し、カップリング 44 を中継してボールネジ 46、ベッド 47 を駆動し、制御対象となるテーブル 45 を、所望の位置および速度にて駆動する。

【0004】いま、ロストモーション補正処理の必要な位置指令 SP が、関数発生部 32 から軸制御部 33 に転送されてきたとする。この時、主制御部 34 にて前回の位置指令と今回の位置指令から今回の送り速度が求められて、これらの情報が多層ニューラルネット型推論部 39 に転送される。モータ位置検出部 43 による位置検出値 DP は、入力部 37 を介して、また、潤滑時間および潤滑油の給油停止からの経過時間も多層ニューラルネット型推論部 39 に転送される。多層ニューラルネット型推論部 39 の入力層には、このようにして機械運転時に随時測定される速度、位置、潤滑時間および潤滑油の給油停止からの経過時間が入力され、出力層からはそれら入力に基づいて推定演算されるロストモーション発生量が出力されてロストモーション補正量算出部 38 に転送される。ロストモーション補正量算出部 38 においては、そのロストモーション発生量と予め設定されたロストモーション補正基準量とに基づいてロストモーション補正量が算出されて、主制御部 34 に転送され、位置制御ループ内の所定のタイミングで位置指令データに加算されて移動量が補正される。なお、結合重み係数算出部 40 は、予め測定された速度、位置および軸潤滑状態のロストモーション測定条件データと、その測定条件下のロストモーション測定量を教師データとして、その教師データから多層ニューラルネット型推論部 39 の各層間結合重み係数を算出するものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の数値制御システムは以上のように構成されているので、ニューラルネットワークの学習のために広範な条件でロストモーション測定が必要になってしまう。また、経年変化や搭載物の重量や室温変化などに対応することができないなどの課題があった。

【0006】この発明は上記のような課題を解決するためになされたもので、ニューラルネットワークを利用することなく、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動するロストモーションを精度良く補正する数値制御システムを得ることを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】この発明に係る数値制御システムは、位置指令値の増減に応じた反転検出情報を出力する反転検出手段と、反転検出情報と予め設定された摩擦補正值とに基づいて電流指令補正值を生成する電流指令補正值生成手段と、制御対象の位置情報と補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段と、推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成する位置指令補正值生成手段とを備えたものである。

【0008】この発明に係る数値制御システムは、位置指令補正值生成手段において、摩擦推定手段により推定された摩擦量と位置指令値出力手段から出力された位置指令値とに基づいて位置指令補正值を生成するようにしたものである。

【0009】この発明に係る数値制御システムは、制御対象の位置情報と補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段と、推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成する位置指令補正值生成手段と、推定された摩擦量に基づいて電流指令補正值を生成する電流指令補正值生成手段とを備えたものである。

【0010】この発明に係る数値制御システムは、電流指令補正值生成手段において、反転検出手段により検出された反転検出情報と摩擦推定手段により推定された摩擦量とに基づいて電流指令補正值を生成するようにしたものである。

【0011】この発明に係る数値制御システムは、摩擦推定手段において、制御対象の位置情報と電流指令値補正手段により補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定し、その推定された摩擦量の絶対値が予め設定された最大摩擦量を超えないように出力を制限するようにしたものである。

【0012】この発明に係る数値制御システムは、摩擦推定手段において、制御対象の運動方向が重力の影響を受けるような場合に、その重力の影響を考慮して摩擦量を推定するようにしたものである。

【0013】この発明に係る数値制御システムは、位置指令補正值生成手段において、摩擦推定手段からの摩擦量を位置指令値およびその摩擦量に応じて変化する非線形バネ要素の剛性で除算した位置指令補正值を生成するようにしたものである。

【0014】この発明に係る数値制御システムは、一定の位置指令値に基づいて制御対象を動作させた際の制御対象の位置情報とこの制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値とに基づいて、制御対象の慣性モーメントと粘性摩擦係数を推定するパラメータ推定手段を備え、摩擦推定手段は、パラメータ推定手段の出力を用いて、制御対象の位置情報とこの制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値とに基づいて摩擦量を推定するようにしたものである。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の一形態を説明する。

実施の形態1. 図1はこの発明の実施の形態1によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、1は被加工物や工具などが固定されるテーブル(制御対象)、2はこのテーブル1の下面に固定されたボールネジナット(駆動手段)、3はこのボールネジナット2と嵌合されたボールネジ(駆動手段)、4はこのボールネジ3を回転駆動するサーボモータ(駆動手段)、5はこのサーボモータ4の回転量を検出するエンコーダである。上記ボールネジ3およびボールネジナット2は、サーボモータ4の回転運動を直線運動に変換し、テーブル1は、このボールネジ3およびボールネジナット2などの駆動伝達部材と図示外の直動案

$$f = Kt \times i_r - J \times d d \theta - C \times d \theta \quad \dots (1)$$

但し、 f は推定されたサーボモータ軸換算の摩擦量、 Kt はサーボモータ4のトルク定数、 i_r はサーボモータ4への電流指令値、 J は可動部全てを含むサーボモータ軸換算の慣性モーメント、 $d d \theta$ はサーボモータ4の角加速度、 C はサーボモータ軸換算の粘性摩擦係数、 $d \theta$ はサーボモータ4の角速度である。なお、上記式(1)で算出された値には高周波のノイズが含まれることが多い

$$LM = f / K$$

但し、 LM は算出されたロストモーション補正值(位置指令補正值)、 f は摩擦推定手段8で推定された摩擦量、 K はボールネジ3などの駆動力伝達系に含まれるバネ要素の剛性である。11は位置指令値に位置指令補正值を加算する位置指令値補正手段である。12はこの位置指令値補正手段11の出力およびエンコーダ5の検出回転量が入力され、位置指令値補正手段11の出力に示される目標位置とエンコーダ5の検出回転量に示される現在位置との距離に応じた速度指令を出力する位置制御手段(電流指令値生成手段)、13はこの速度指令値に応じたサーボモータ4への電流指令値を出力する速度制御手段(電流指令値生成手段)、14はこの電流指令値に摩擦補正值算出手段9の出力である電流指令補正值を加算する電流指令値補正手段、15はこの電流指令値補正手段14の出力が入力され、この出力に応じた電流をサーボモータ4に供給する電流制御手段である。

【0016】次に動作について説明する。位置指令値出力手段6から加工プログラムなどに基づいて位置指令値が出力されると、反転検出手段7は、その位置指令値の増減に基づいてテーブル1の軸方向の制御方向が反転するか否かを判断する。そして、反転しない場合には前回の判断結果と同じ符合の、また、反転する場合には反転後の軸の制御方向に応じた正または負の大きさ1のステップ状の反転検出情報を出力する。また、摩擦推定手段8は、エンコーダ5によって検出された回転量および電流指令値に基づいてテーブル1の摩擦量を推定し、ロス

*内機構(ガイドレール)とに従って所定の位置に設定制御されたり、目標の軌道にて移動動作を実施する。6は加工プログラムなどに基づいてテーブル1の所定の軸方向の位置を数値制御するための位置指令値を出力する位置指令値出力手段、7はその位置指令値の増減に基づいてテーブル1の軸方向の制御方向が反転するか否かを判断し、反転する場合には反転後の位置指令値の増減に応じた正または負の大きさ1のステップ状の反転検出情報を出力し、反転しない場合には前回の判断結果と同じ符合の大きさ1のステップ状の反転検出情報を出力する反転検出手段である。8はサーボモータ4に対する補正された電流指令値とエンコーダ5が出力するサーボモータ4の回転量に基づいて制御対象に作用する摩擦量を下記式(1)を用いて推定する摩擦推定手段である。

※として出力する。9は反転検出手段7からの反転検出情報に予め設定された摩擦補正值を積算して電流指令補正值を算出する摩擦補正值算出手段(電流指令補正值生成手段)、10は摩擦推定手段8からの摩擦量に基づいて、下記式(2)を用いて位置指令補正值を算出するロストモーション補正值算出手段(位置指令補正值生成手段)である。

$$\dots (2)$$

ロストモーション補正值算出手段10は、この推定された摩擦量からロストモーション補正值を算出して位置指令補正值として出力し、位置指令値補正手段11は、この位置指令補正值と位置指令値とを加算する。そして、位置制御手段12は、その補正された位置指令値に示される目標位置とエンコーダ5によって検出された回転量に示される現在位置との距離に応じた速度指令値を出力し、速度制御手段13は、この速度指令値に応じた電流指令値を出力する。さらに、摩擦補正值算出手段9は、反転検出情報に予め設定された摩擦補正值を積算して電流指令補正值を出力し、電流指令値補正手段14は、電流指令値に電流指令補正值を加算し、電流制御手段15は、その補正された電流指令値に応じた電流をサーボモータ4に供給する。そして、サーボモータ4は、ボールネジ3を回転駆動し、テーブル1は、ボールネジナット2と共に速度指令の速度で位置指令値の位置まで移動する。

【0017】以上のように、この実施の形態1によれば、位置指令値が入力され、位置指令値の増減に基づいて制御方向の反転を検出して反転検出情報を出力する反転検出手段7と、サーボモータ4に対する電流指令値とテーブル1の現在位置に基づいて摩擦量を推定して出力する摩擦推定手段8と、摩擦推定手段8からの摩擦量に応じて変化する位置指令補正值を生成して出力するロストモーション補正值算出手段10と、その位置指令補正值を用いて位置指令値の補正演算を行う位置指令補正手段11とを備えて、テーブル1の数値制御に利用する位

置指令値を補正するので、現在の制御対象の状態に応じた適切な位置指令補正值を用いて位置指令値の補正を行うことができる。従って、テーブル1の位置や速度や潤滑状態に応じて異なる摩擦量を得て、これに基づいて位置指令値を補正することができるので、ボールネジナット2とボールネジ3との間の遊びなどに起因するがたつき（バックラッシュ）やこれらの駆動伝達部材の剛性と摩擦との関係に依存する弾性変形があったとしても、単にテーブル1の制御方向が反転した際に一定の位置指令補正值を用いて位置指令値の補正を行う場合に比べて精度*

$$LM = f / K(\theta)$$

但し、LMは算出されたロストモーション補正值、fは上記摩擦推定手段8で推定された摩擦量、 θ は位置指令値（回転量）、 $K(\theta)$ は位置毎に異なるボールネジ3などの駆動力伝達系に含まれるバネ要素の剛性である。これ以外の構成は実施の形態1と同様であり説明を省略する。

【0019】次に動作について説明する。ロストモーション補正值算出手段16は、位置指令値出力手段6から位置指令値 θ に基づいて、位置指令値毎に異なるバネ要素の剛性 $K(\theta)$ を関数あるいはテーブルルックアップにて算出する。次に摩擦推定手段8から推定された摩擦量 f を、バネ剛性 $K(\theta)$ で除算することによりロストモーション補正值LMを算出し、位置指令補正值として出力する。これ以外の動作は実施の形態1と同様であり説明を省略する。

【0020】以上のように、この実施の形態2によれば、ロストモーション補正值算出手段16が、摩擦推定手段8で推定された摩擦量と、位置毎に異なるバネ剛性に基づいて位置指令補正值を出力するため、位置・速度・移動距離により実際の摩擦量変動したり、位置に応じて駆動力伝達系のバネ剛性が変動しても、適切な位置指令補正值を算出することができるので、単にテーブル1の制御方向が反転した際に一定の位置指令補正值を用いて位置指令値の補正を行う場合に比べて精度良くロストモーションを補正して、精度良く位置を制御することができる。

【0021】実施の形態3. 図3はこの発明の実施の形態3によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、17は摩擦推定手段8からの推定された摩擦量を電流値に換算して摩擦補正值として出力する摩擦補正值算出手段（電流指令補正值生成手段）である。これ以外の構成は実施の形態2と同様であり説明を省略する。

【0022】次に動作について説明する。摩擦補正值算出手段17は、摩擦推定手段8から推定された摩擦量が入力されると、これを電流値に換算して摩擦補正值として出力する。これ以外の動作は実施の形態2と同様であり説明を省略する。

【0023】以上のように、この実施の形態3によれば

*良くロストモーションを補正して、精度良く位置を制御することができる。

【0018】実施の形態2. 図2はこの発明の実施の形態2によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、16は摩擦推定手段8からの推定された摩擦量と、位置指令値出力手段6からの位置指令値とに基づいて、下記式(3)を用いて位置指令補正值を算出するロストモーション補正值算出手段（位置指令補正值生成手段）である。

$$\dots (3)$$

ば、摩擦推定手段8からの摩擦量出力をサーボモータ4に対する電流に換算して出力する摩擦補正值算出手段17を備えているので、テーブル1の位置や速度や潤滑状態に応じて変化する摩擦量の増減分をこの推定された摩擦量で相殺させることができ、この摩擦量の増減による位置精度の悪化を防止することができる。

【0024】実施の形態4. 図4はこの発明の実施の形態4によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、18は予め設定された摩擦補正值に反転検出手段7からの反転検出情報の符号を掛けたものと、摩擦推定手段8で推定された摩擦量とを比較して、絶対値の大きい方を摩擦補正值として出力する摩擦補正值算出手段（電流指令補正值生成手段）である。これ以外の構成は実施の形態2と同様であり説明を省略する。

【0025】次に動作について説明する。反転検出手段7から反転検出情報が入力されると摩擦補正值算出手段18は、予め設定された摩擦補正值に反転検出手段7からの反転検出情報の符号を掛けたものと、摩擦推定手段8で推定された摩擦量とを比較して、絶対値の大きい方を摩擦補正值として出力する。これ以外の動作は実施の形態2と同様であり説明を省略する。図5は摩擦補正值算出手段18の動作を示す説明図である。(a)の制御対象の移動方向が高速に反転する場合には、細線で示す制御対象に作用する摩擦はその絶対値が小さく、かつ、高い周波数で符号が反転する。このような場合には、摩擦推定手段8にローパスフィルタが含まれているため、点線で示す推定された摩擦量は実際の摩擦より大きく遅れて符号が反転する。それに対して、一点鎖線で示す、高速運動中の実際の摩擦と同等の値を予め設定された摩擦補正值に反転検出手段7からの反転検出情報の符号を掛けた補正信号の方は、実際の摩擦に対して遅れることなく符号が反転する。推定された摩擦量にローパスフィルタによる遅れがある間は、その絶対値は小さくなっているため、摩擦補正值算出手段18は絶対値の大きい反転検出情報から生成された摩擦補正值を出力する。従って、摩擦補正值算出手段18の出力は、制御対象に作用する摩擦に対して、大きな遅れを持つことはない。

(b)の制御対象の移動方向が低速に反転する場合に

は、細線で示す制御対象に作用する摩擦はその絶対値が大きく、かつ、緩やかに符号が反転する。このような場合には、摩擦推定手段 8 に含まれるローパスフィルタによる遅れは大きくない。かつ、推定された摩擦量の絶対値が小さい間は、反転検出信号から生成された摩擦補正值が出力されるため、遅れが軽減される。

【0026】以上のように、この実施の形態 4 によれば、摩擦補正值算出手段 18 が、摩擦推定手段 8 で推定された摩擦量と、反転検出手段 7 からの反転検出情報から生成される摩擦補正值のうちの、絶対値の大きい方を出力するため、制御対象に作用する摩擦の符号反転が高速・低速いずれの場合でも、出力の応答遅れが大きくなることはなく、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動する摩擦が原因となって生じる象限突起を精度良く補正できる。

【0027】実施の形態 5. 図 6 はこの発明の実施の形態 5 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、19 は予め設定された摩擦補正值に反転検出手段 7 からの反転検出情報の符号を掛けたものと、摩擦推定手段 8 で推定された摩擦量に

予め設定されたゲインを掛けたものと、摩擦補正值として出力する摩擦補正值算出手段（電流指令補正值生成手段）である。これ以外の構成は実施の形態 2 と同様であり説明を省略する。

【0028】次に動作について説明する。反転検出手段 7 から反転検出信号が入力されると摩擦補正值算出手段 19 は、予め設定された摩擦補正值に反転検出手段 7 からの反転検出情報の符号を掛けたものと、摩擦推定手段 8 で推定された摩擦量に予め設定されたゲインを掛けたものとを加算し、摩擦補正值として出力する。これ以外の動作は実施の形態 2 と同様であり説明を省略する。図 7 は摩擦補正值算出手段 19 の動作を示す説明図である。（a）の制御対象の移動方向が高速に反転する場合には、細線で示す制御対象に作用する摩擦はその絶対値が小さく、かつ、高い周波数で符号が反転する。このよ

$$\begin{aligned} f_l &= K_t \times i_r - J \times dd\theta - C \times d\theta & \dots (4) \\ \text{if } (f_l > F_{\max}) \quad f &= F_{\max} \\ \text{else if } (f_l < -F_{\max}) \quad f &= -F_{\max} & \dots (5) \end{aligned}$$

但し、 f は推定されたサーボモータ軸換算の摩擦量、 K_t はサーボモータ 4 のトルク定数、 i_r はサーボモータ 4 への電流指令値、 J は可動部全てを含むサーボモータ軸換算の慣性モーメント、 $dd\theta$ はサーボモータ 4 の角加速度、 C はサーボモータ軸換算の粘性摩擦係数、 $d\theta$ はサーボモータ 4 の角速度、 F_{\max} は想定される最大摩擦量である。なお、上記式（5）で算出された値には高周波のノイズが含まれることが多いため、ローパスフィルタに通した値を推定した摩擦量として出力する。これ以外の構成は実施の形態 4 と同様であり説明を省略する。

* うな場合には、摩擦推定手段 8 にローパスフィルタが含まれているため、点線で示す推定された摩擦量に予め設定されたゲインを掛けた信号は実際の摩擦より大きく遅れて符号が反転する。それに対して、一点鎖線で示す、高速運動中の実際の摩擦より小さめの値を予め設定された摩擦補正值に反転検出手段 7 からの反転検出情報の符号を掛けた補正信号の方は、実際の摩擦に対して遅れることなく符号が反転する。以上より、推定された摩擦量から計算される摩擦補正值には応答遅れが含まれているが、それに反転検出情報から生成される摩擦補正值が加算されるため、摩擦補正值算出手段 19 の出力に含まれる遅れは軽減される。（b）の制御対象の移動方向が低速に反転する場合には、細線で示す制御対象に作用する摩擦はその絶対値が大きく、かつ、緩やかに符号が反転する。このような場合には、摩擦推定手段 8 に含まれるローパスフィルタによる遅れは大きくない。かつ、反転検出情報から生成された摩擦補正值が加算されるため、摩擦補正值算出手段 19 の出力に含まれる遅れは軽減される。

【0029】以上のように、この実施の形態 5 によれば、摩擦補正值算出手段 19 が、摩擦推定手段 8 で推定された摩擦量に予め設定されたゲインを掛けたものに、反転検出手段 7 からの反転検出情報から生成される摩擦補正值を加算した摩擦補正值を出力するため、制御対象に作用する摩擦の符号反転が高速・低速いずれの場合でも、出力の応答遅れが大きくなることはなく、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動する摩擦が原因となって生じる象限突起を精度良く補正できる。

【0030】実施の形態 6. 図 8 はこの発明の実施の形態 6 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、20 はサーボモータ 4 に対する電流指令値とエンコーダ 5 が出力するサーボモータ 4 の回転量に基づいて、制御対象に作用する摩擦量を下記式（4）ならびに式（5）を用いて推定する摩擦推定手段である。

【0031】次に動作について説明する。電流指令値補正手段 14 からの補正された電流指令値と、エンコーダ 5 からのサーボモータ 4 の回転量が入力されると、摩擦推定手段 20 は、上記式（4）ならびに式（5）を用いて計算した値をローパスフィルタに通してノイズ除去を実施し、推定摩擦量を出力する。これ以外の動作は実施の形態 4 と同様であり説明を省略する。

【0032】以上のように、この実施の形態 6 によれば、摩擦推定手段 20 が電流指令値補正手段 14 からの補正された電流指令値と、エンコーダ 5 からのサーボモータ 4 の回転量に基づいて計算した推定摩擦量の絶対値

が、想定される最大摩擦量 F_{max} を超えないように出力制限を行うため、制御対象が静止物体と衝突した場合も推定摩擦量が異常に増大することなく、ロストモーション補正值ならびに摩擦補正值が異常に増大すること防止することができる。

【0033】実施の形態7. 図9はこの発明の実施の形*

$$f_l = K_t \times i_r - J \times d d \theta - C \times d \theta - G \quad \dots (6)$$

但し、 f_l は推定されたサーボモータ軸換算の摩擦量、 K_t はサーボモータ4のトルク定数、 i_r はサーボモータ4への電流指令値、 J は可動部全てを含むサーボモータ軸換算の慣性モーメント、 $d d \theta$ はサーボモータ4の角加速度、 C はサーボモータ軸換算の粘性摩擦係数、 $d \theta$ はサーボモータ4の角速度、 G は可動部質量に重力加速度を掛けたものをトルクに換算したものである。なお、上記式(6)で算出された値には高周波のノイズが含まれることが多いため、ローパスフィルタに通した値を推定した摩擦量として出力する。これ以外の構成は実施の形態4と同様であり説明を省略する。

【0034】次に動作について説明する。電流指令値補正手段14からの補正された電流指令値と、エンコーダ5からのサーボモータ4の回転量が入力されると、摩擦推定手段21は上記式(6)を用いて計算した値をローパスフィルタに通してノイズ除去を実施し、推定摩擦※

$$L M = f / (K(\theta) \cdot k_f(f)) \quad \dots (7)$$

$$\text{if } (|f| > F_l) \quad k_f = k_{f1}$$

$$\text{else } k_f = k_{f2} \quad \dots (8)$$

但し、 $L M$ は算出されたロストモーション補正值、 f は摩擦推定手段21で推定された摩擦量、 θ はサーボモータ4の現在位置(回転量)、 $K(\theta)$ は関数あるいはテーブルで表現されるその現在位置毎のバネ要素の剛性、 $k_f(f)$ はバネ要素の非線形特性であり、摩擦量 f が小さいときはバネ要素の剛性も小さく、摩擦量 f が大きいときにはバネ要素の剛性も大きい特性を持つ。これ以外の構成は実施の形態4と同様であり説明を省略する。なお、この実施の形態8では、バネ要素の非線形特性を上記式(8)で表現したが、他の関数あるいはテーブルで表現しても同様な効果を得ることができる。

【0037】次に動作について説明する。摩擦推定手段21からの推定された摩擦量と、位置指令値出力手段6からの位置指令値ならびに反転検出手段7からの反転検出情報が入力されると、ロストモーション補正值算出手段22は、上記式(7)ならびに式(8)を用いてロストモーション補正值を算出し、反転検出情報の符号を掛けて出力する。これ以外の動作は実施の形態4と同様であり説明を省略する。

【0038】以上のように、この実施の形態8によれば ★

$$[J \ C \ f_e \ G] = (B' B)^{-1} B' [\tau]$$

$$B = [d d \theta \ d \theta \ \text{sign}(d \theta) \ 1]$$

$$\tau = K_t \times i \quad \dots (9)$$

但し、 $[\]'$ は転置行列、 $[\]^{-1}$ は逆行列、 $[\tau]$ 50 はサーボモータ4への指令トルクの時系列データからな

*態7によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、21はサーボモータ4に対する電流指令値とエンコーダ5が出力するサーボモータ4の回転量に基づいて、制御対象に作用する摩擦量を下記式(6)を用いて推定する摩擦推定手段である。

※量を出力する。これ以外の動作は実施の形態4と同様であり説明を省略する。

10 【0035】以上のように、この実施の形態7によれば、制御対象の運動方向が重力の影響を受けるような場合に、摩擦推定手段21は、その重力の影響を考慮して摩擦量を推定するので、制御対象に重力が影響するような場合でも、精度良く摩擦を推定することができる。

【0036】実施の形態8. 図10はこの発明の実施の形態8によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、22は位置指令値出力手段6からの位置指令値と反転検出手段7からの反転検出情報ならびに摩擦推定手段21からの摩擦量に基づいて、下記式(7)ならびに式(8)を用いて位置指令補正值を算出するロストモーション補正值算出手段(位置指令補正值生成手段)である。

★ば、ロストモーション補正值算出手段22が推定された摩擦量と位置指令値に基づいて、式(7)ならびに式(8)を用いて、ロストモーション補正值を算出するため、駆動対象のバネ剛性が非線形性を持つ場合でも、その特性を考慮した補正值を算出することが可能となり、高精度な補正ができる。

【0039】実施の形態9. 図11はこの発明の実施の形態9によるNC加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図であり、図において、23は位置指令値出力手段6に対して予め定められた位置指令値を出力するように指示を出力し、その位置指令値に基づく制御対象の運動中の電流指令値補正手段14の出力である補正された電流指令値ならびにエンコーダ5の出力であるサーボモータ4の回転量から、最小自乗法を用いて下記式(9)から、可動部全てを含むサーボモータ軸換算の慣性モーメント J 、サーボモータ軸換算の粘性摩擦係数 C 、および可動部質量に重力加速度を掛けたものをトルクに換算したものの G を計算し、摩擦推定手段21に出力するパラメータ推定手段である。

る m 行の列ベクトル、 B は角加速度 $d^2\theta$ と角速度 $d\theta$ と $d\theta$ の符号 $\text{sign}(d\theta)$ の時系列データおよび全ての要素が1の列ベクトルからなる m 行4列の行列、 f_e は変動する摩擦の平均値である。これ以外の構成は実施の形態8と同様であり説明を省略する。

【0040】次に動作について説明する。制御対象のテーブルに搭載されている被加工物の交換などにより制御対象の物理的パラメータが変更された場合に、パラメータ推定手段23は、位置指令値出力手段6に指示を出してパラメータ計測用の位置指令値を生成させ、その位置指令値に基づく制御対象の運動中の補正された電流指令値ならびにサーボモータ4の回転量から上記式(9)を用いて、パラメータを計算する。摩擦推定手段21は計算されたパラメータを用いて以降の摩擦推定計算を実施する。これ以外の動作は実施の形態8と同様であり説明を省略する。

【0041】以上のように、この実施の形態9によれば、パラメータ推定手段23が必要に応じて位置指令値出力手段6にパラメータ推定用の位置指令値を生成させ、その位置指令値に基づく制御対象の運動中の補正された電流指令値ならびにサーボモータ4の回転量を計測し、摩擦推定手段21で使用されるパラメータを計算して更新するので、制御対象のテーブルに搭載されている被加工物の交換などにより制御対象の物理的パラメータが変更された場合にも容易にパラメータを更新することが可能であり、常に高精度な摩擦推定が可能となり、高精度な補正ができる。

【0042】

【発明の効果】以上のように、この発明によれば、位置指令値の増減に応じた反転検出情報を出力する反転検出手段と、反転検出情報と予め設定された摩擦補正值とに基づいて電流指令補正值を生成する電流指令補正值生成手段と、制御対象の位置情報と補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段と、推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成する位置指令補正值生成手段とを備えるように構成したので、電流指令補正值生成手段を設けたことにより、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動する摩擦によって生じる象限突起を精度良く補正することができる。また、位置指令補正值生成手段を設けたことにより、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動するロストモーションを精度良く補正することができる効果がある。

【0043】この発明によれば、位置指令補正值生成手段は、摩擦推定手段により推定された摩擦量と位置指令値出力手段から出力された位置指令値とに基づいて位置指令補正值を生成するように構成したので、位置指令補正值生成手段を設けたことにより、位置に応じて駆動手段の剛性が変動するような場合でも、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動するロストモーションを精度良く補正することができる効果がある。

【0044】この発明によれば、制御対象の位置情報と補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定する摩擦推定手段と、推定された摩擦量に基づいて位置指令補正值を生成する位置指令補正值生成手段と、推定された摩擦量に基づいて電流指令補正值を生成する電流指令補正值生成手段とを備えるように構成したので、位置指令補正值生成手段を設けたことにより、位置、速度、制御対象の潤滑状態に応じて変動するロストモーションを精度良く補正することができる。また、電流指令補正装置を設けたことにより、位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動する摩擦によって生じる象限突起を精度良く補正できる効果がある。

【0045】この発明によれば、電流指令補正值生成手段は、反転検出手段により検出された反転検出情報と摩擦推定手段により推定された摩擦量とに基づいて電流指令補正值を生成するように構成したので、電流指令補正值生成手段を設けたことにより、制御対象に作用する摩擦の符号反転が高速・低速のいずれの場合でも、出力の応答遅れが大きくなることはなく、常に位置・速度・制御対象の潤滑状態に応じて変動する摩擦によって生じる象限突起を精度良く補正できる効果がある。

【0046】この発明によれば、摩擦推定手段は、制御対象の位置情報と電流指令値補正手段により補正された電流指令値とに基づいて摩擦量を推定し、その推定された摩擦量の絶対値が予め設定された最大摩擦量を超えないように出力を制限するように構成したので、摩擦推定手段により、制御対象が他の物体に衝突し、制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値が異常に大きくなった場合でも、位置指令補正值および電流指令補正值が異常な値にならない効果がある。

【0047】この発明によれば、摩擦推定手段は、制御対象の運動方向が重力の影響を受けるような場合に、その重力の影響を考慮して摩擦量を推定するように構成したので、摩擦推定手段により、制御対象に重力が影響するような場合でも、精度良く摩擦を推定することが可能となり、結果的に精度良く位置指令値および電流指令値を補正することができる効果がある。

【0048】この発明によれば、位置指令補正值生成手段は、摩擦推定手段からの摩擦量を位置指令値およびその摩擦量に応じて変化する非線形バネ要素の剛性で除算した位置指令補正值を生成するように構成したので、位置指令補正值生成手段により、制御対象が非線形バネ要素としての特性を持つ場合にも、精度良く位置指令補正值を生成できる効果がある。

【0049】この発明によれば、一定の位置指令値に基づいて制御対象を動作させた際の制御対象の位置情報とこの制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値とに基づいて、制御対象の慣性モーメントと粘性摩擦係数を推定するパラメータ推定手段を備え、摩擦推定手段は、パラメータ推定手段の出力を用いて、制御対象の位置情報

とこの制御対象を駆動する駆動手段への電流指令値とに基づいて摩擦量を推定するように構成したので、パラメータ推定手段により、制御対象の負荷質量が変化した場合でも、容易に制御対象の慣性モーメントと粘性摩擦係数を推定することが可能であり、推定したパラメータで精度良く位置指令値および電流指令値を補正できる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の実施の形態 1 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 2】 この発明の実施の形態 2 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 3】 この発明の実施の形態 3 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 4】 この発明の実施の形態 4 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 5】 摩擦補正值算出手段の動作を示す説明図である。

【図 6】 この発明の実施の形態 5 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 7】 摩擦補正值算出手段の動作を示す説明図である。

【図 8】 この発明の実施の形態 6 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 9】 この発明の実施の形態 7 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 10】 この発明の実施の形態 8 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

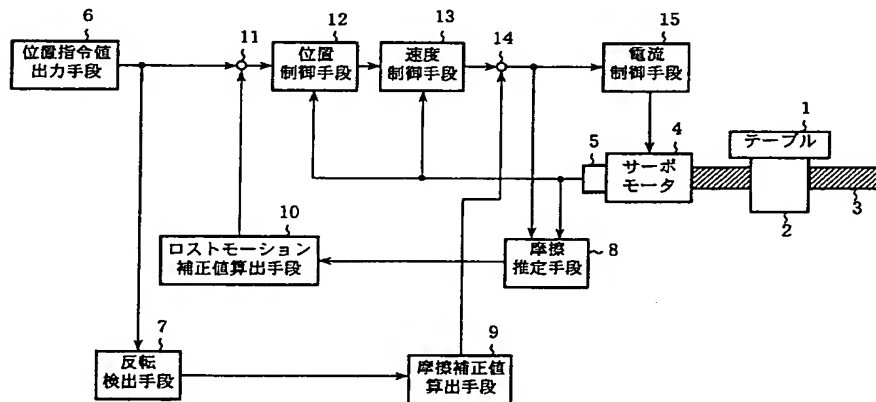
【図 11】 この発明の実施の形態 9 による NC 加工システムの一軸分の構成を示すブロック構成図である。

【図 12】 従来の数値制御システムを示すブロック構成図である。

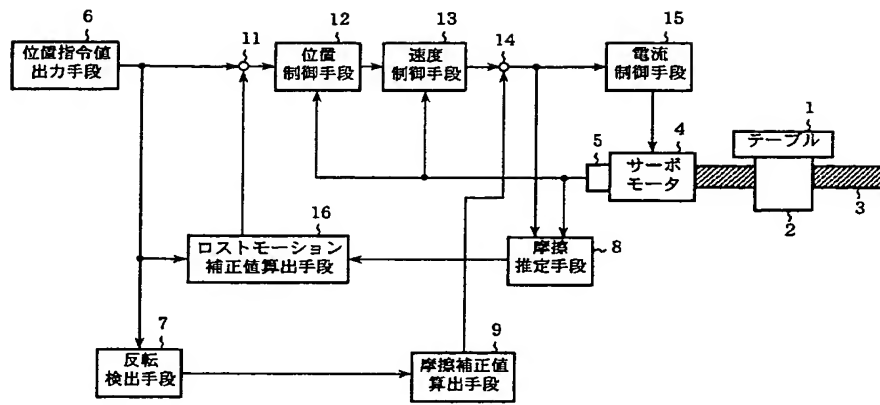
【符号の説明】

1 テーブル（制御対象）、2 ボールネジナット（駆動手段）、3 ボールネジ（駆動手段）、4 サーボモータ（駆動手段）、5 エンコーダ、6 位置指令値出力手段、7 反転検出手段、8、20、21 摩擦推定手段、9、17～19 摩擦補正值算出手段（電流指令補正值生成手段）、10、16、22 ロストモーション補正值算出手段（位置指令補正值生成手段）、11 位置指令値補正手段、12 位置制御手段（電流指令値生成手段）、13 速度制御手段（電流指令値生成手段）、14 電流指令値補正手段、15 電流制御手段、23 パラメータ推定手段。

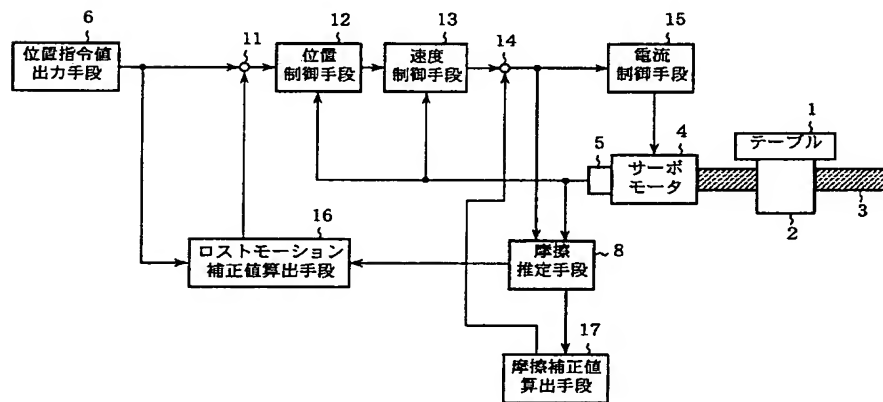
【図 1】



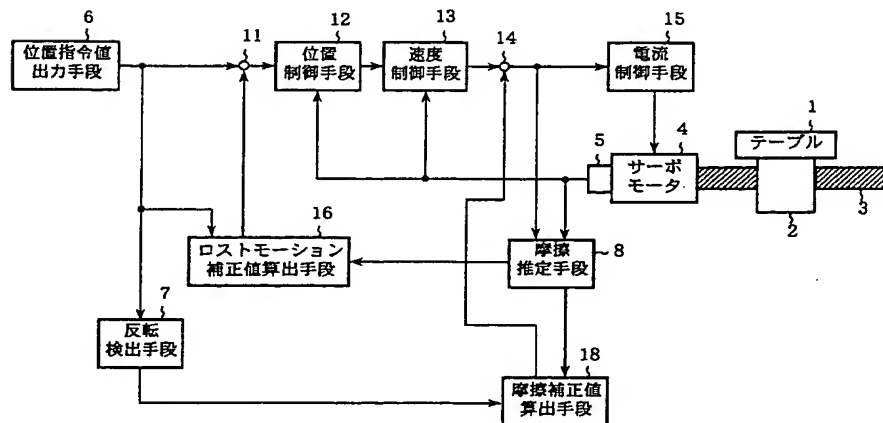
【図 2】



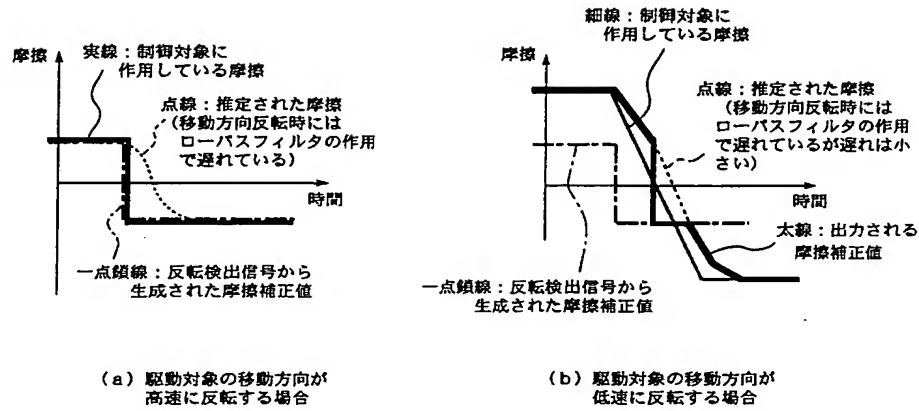
【図 3】



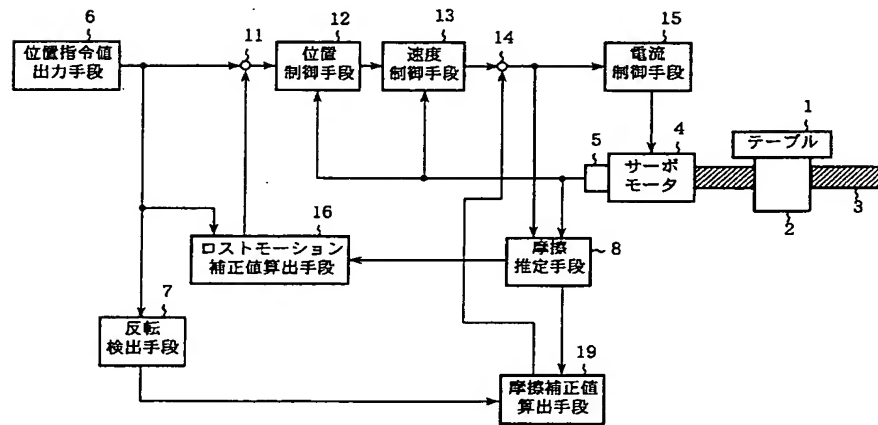
【図 4】



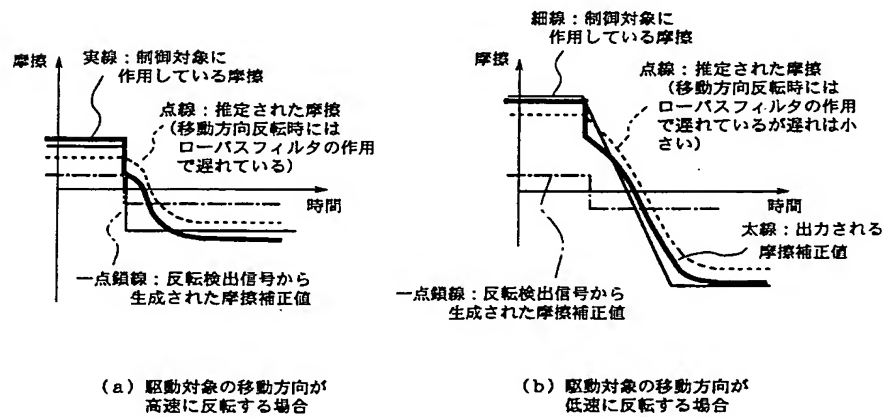
【図 5】



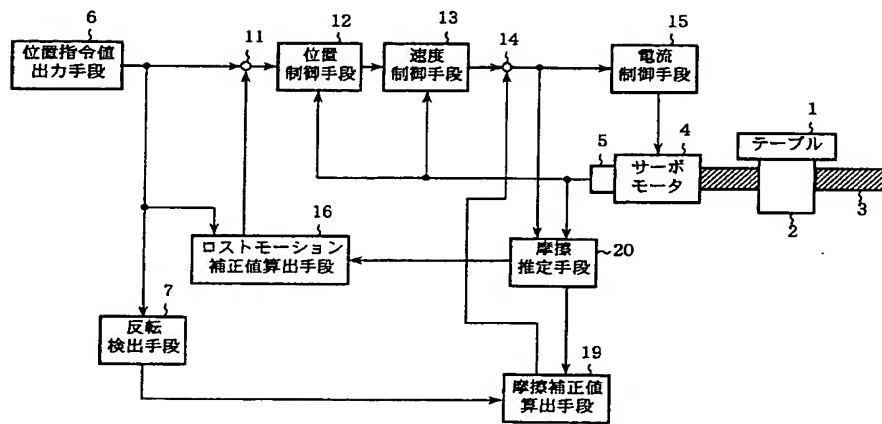
【図 6】



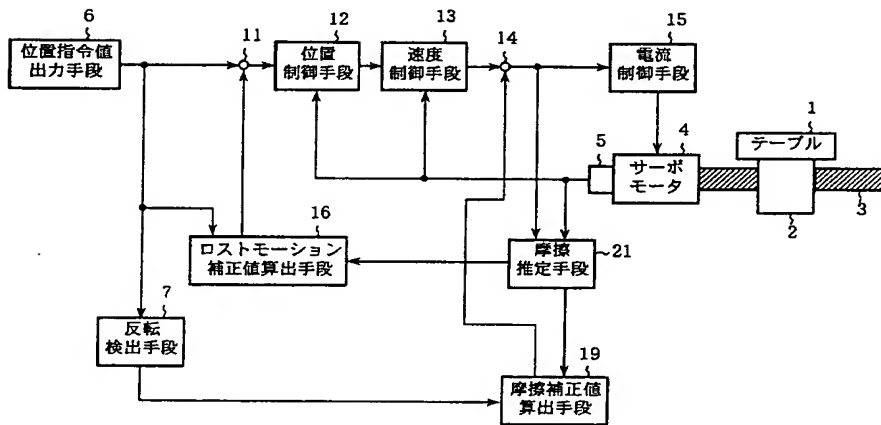
【図 7】



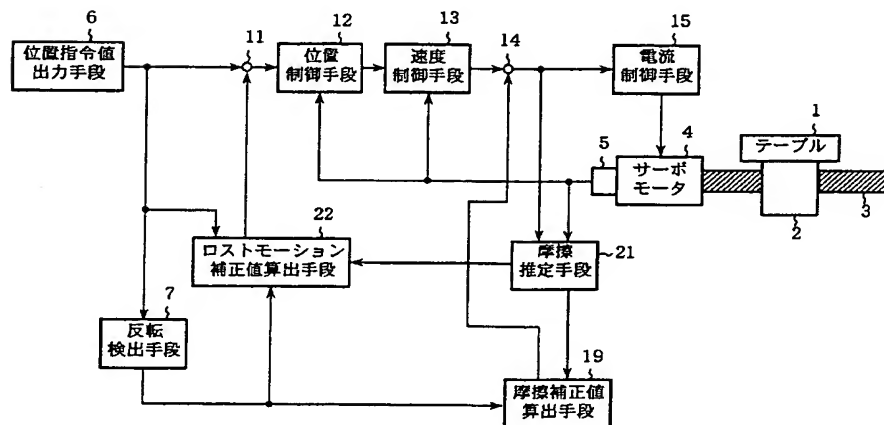
【図 8】



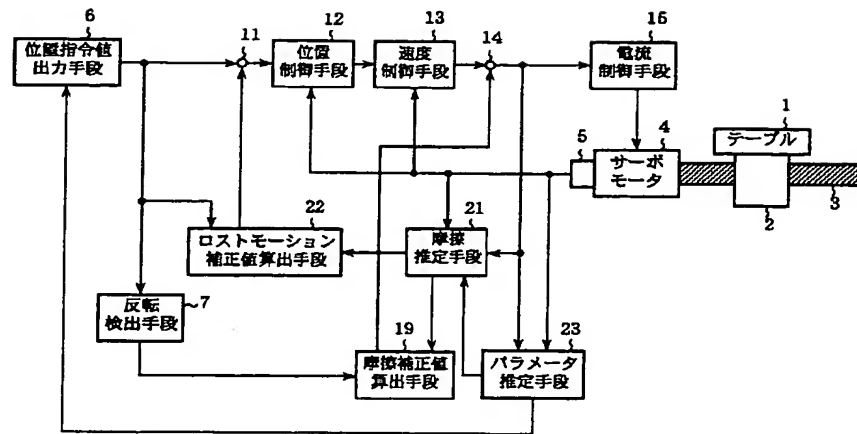
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 12】

